

铁路隧道爆破对运行期电站的振动影响研究

刘志辉

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072)

摘要:以拉林铁路巴玉隧道出口交通洞爆破开挖为例,通过对所处其影响区内的某水电站进行爆破振动试验与监测,提出了运行期电站爆破振动控制标准。振动试验在求出与之对应的场地系数和衰减系数的前提下,确立了最终的最大单响药量控制标准。以试验结果进行爆破施工并开展了爆破振动监测,监测结果表明:各保护对象质点振动速度均小于控制标准。拉林铁路巴玉隧道出口交通隧道爆破施工并未影响到该水电站的安全运营。

关键词:爆破施工;控制标准;振动试验;振动监测;巴玉隧道

中图分类号:TV7;TV32+3;TV522

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)01-0072-03

1 概述

随着水电水利工程的日益发展,工程爆破应用越来越多,但在爆破释放出巨大能量给工程带来经济效益和社会效益的同时,亦给爆源附近的民居、古建筑物和变形体(滑坡体)等带来很大的影响。因此,研究爆破振动规律、开展爆破振动试验与监测就具有极其重要的意义。

笔者结合西藏某水电站拉林铁路巴玉隧道出口交通洞爆破施工生产实际,围绕爆破施工安全技术等关键问题开展了爆破振动对临近建筑物的影响研究,以达到既保障该水电站安全运营、又尽可能地加快巴玉隧道出口交通洞的施工进度之目的。

2 工程概述与控制标准的制定及计算

2.1 工程概述

某水电站位于西藏自治区山南地区加查县境内,为雅鲁藏布江干流上建设的第一座大型水电站,也是西藏“十一五”规划的重点项目,总装机容量 510 MW,多年平均年发电量 25 亿 kW·h。2015 年 10 月电站全部 6 台机组已投入商业运行,水库已进入正常调度运行期。

拉林铁路位于西藏自治区东南部,新建正线长度 402.405 km,运营长度 434.905 km。巴玉隧道为拉林铁路控制性工程,经设计院比较分析论证后确定该隧道施工便道方案采用“948 m 交通隧道”方案从该水电站枢纽工程区右岸通过。“948 m 交通隧道”最大埋深约 350 m,距该水电

站大坝右坝肩最近距离约 180 m,距电站右岸边坡锚索支护锚固端的最近距离为 70 m,与右岸帷幕灌浆平洞的最近距离约 100 m,与鱼道的最近水平距离为 110 m。

2.2 所制定的爆破振动控制标准

开挖爆破所引起的地面振动与天然地震一样是一个非常复杂的变量。它以波的形式传播,其振幅、周期和频率均随时间而变化。振动的物理量一般用质点的振速、加速度、位移和振动频率等表示。振动幅值是衡量爆破振动强度的标志,一般使用质点振动速度幅值、加速度幅值和位移幅值等。目前我国水电行业大多以质点振动速度幅值作为判别标准^[1]。

根据《爆破安全规程》(GB6722-2011)^[2],结合保护对象的具体情况进行分析,得到的相关爆破振动安全允许标准见表 1。

由于该水电站的重要性,本次爆破振动质点振动速度控制标准均按最严格要求取值:发电厂房及机电设备按表 1 中运行中的水电站取 0.5 cm/s,大坝及帷幕灌浆、鱼道按初凝混凝土取 1.5 cm/s,边坡及预应力锚索按永久性岩石高边坡折减 50% 进行取值,为 2.5 cm/s。

2.3 计算 K、 α 的方法

开挖爆破时,决定爆破振动强度的因素很多,但主要为药量和爆心距。而用于测算爆破振动强度的公式很多,但差异亦很大,目前我国大多采用萨道夫斯基公式^[3]:

$$v = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (1)$$

收稿日期:2016-12-10

表1 爆破振动安全允许标准表

序号	保护对象类别	安全允许质点振动速度 $v / \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$		
		$f \leq 10 \text{ Hz}$	$10 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	$f > 50 \text{ Hz}$
1	土窑洞土坯、毛石房	0.15 ~ 0.45	0.45 ~ 0.9	0.9 ~ 1.5
2	一般民用建筑物	1.5 ~ 2	2 ~ 2.5	2.5 ~ 3
3	工业和商业建筑物	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	4.2 ~ 5
4	一般古建筑与古迹	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.5
5	运行中的水电站	0.5 ~ 0.6	0.6 ~ 0.7	0.7 ~ 0.9
6	水工隧洞	7 ~ 8	8 ~ 10	10 ~ 15
7	交通隧道	10 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 20
8	矿山巷道	15 ~ 18	18 ~ 25	20 ~ 30
9	永久性岩石高边坡	5 ~ 9	8 ~ 12	10 ~ 15
10	新浇大体积混凝土 龄期:初凝 ~ 3 d 龄期:3 ~ 7 d 龄期:7 ~ 28 d	1.5 ~ 2 3 ~ 4 7 ~ 8	2 ~ 2.5 4 ~ 5 8 ~ 10	2.5 ~ 3 5 ~ 7 10 ~ 12

式中 v 为质点峰值速度 (cm/s) ; Q 为爆破药量 (kg) , 齐发爆破为总药量, 微差爆破为段最大药量; R 为爆心距 (m) ; K 、 α 分别为场地系数和衰减指数。

对式(1)两边取对数, 得:

$$\log v = \log K + \alpha \log \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right) \quad (2)$$

$$\text{引入变量: } y = \log v \quad x = \log \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right) \quad k = \log K$$

得到: $y = k + \alpha x$ 的一元线性回归方程, k 、 α 为回归方程的回归系数。根据最小二乘法, 将各检测点的质点振动速度值 v 及爆破药量 Q 、爆心距 R 分别代入式(2)进行回归分析计算, 得到该地质与地形条件下的 K 和 α 。

3 测试方案

3.1 试爆药量

由萨道夫斯基公式可以求得最大单响装药量公式: $Q = \left(\sqrt{\frac{v}{K}} \cdot R \right)^3$, 公式表明: 在 v 、 R 已知的情况下, K 值越大, Q 越小; α 越小, Q 越小。

根据《爆破安全规程》(GB6722-2011)^[2], 爆区不同岩性的爆破振动参数 K 、 α 经验值见表2。

表2 爆区不同岩性的 K 、 α 值表

岩性	K	α
坚硬岩石	50 ~ 150	1.3 ~ 1.5
中硬岩石	150 ~ 250	1.5 ~ 1.8
软质岩石	250 ~ 350	1.8 ~ 2

“948 m 交通隧道”施工期爆破开挖范围内大

多为Ⅱ类和Ⅲ类花岗岩, 属坚硬岩石。根据断层及裂隙发育情况和该水电站的重要性, 试验前的 K 和 α 经验值应按最不利情况选用。为此, 取 $K = 150$, $\alpha = 1.3$ 。经计算, 试爆药量由保护对象——发电厂房及机电设备控制, 其值为 20.2 kg。

在进行爆破振动试验与监测之初, 为保证各保护对象的绝对安全, 以最大单响药量不大于 20.2 kg 进行试爆。试爆后, 根据试验与监测数据, 再逐步提高装药量至最大安全装药量水平。

3.2 试验方案

为控制“948 m 交通隧道”开挖爆破对某水电站各建筑物的振动影响, 在“948 m 交通隧道” GK000+000 至 GK000+020 段进行小药量试开挖, 在大坝、厂房和机电设备、鱼道、右岸帷幕灌浆平洞、右岸缆机平台、高压出线铁塔等部位布置了 20 个测试点, 并进行了 2 次爆破振动测试。根据试验情况, 合理调整测点位置, 初步确定了各敏感建筑物方向的爆破振动参数 K 、 α 值, 预测了最大安全药量, 并将其作为下阶段爆破施工的控制依据。

GK000+020 至 GK000+060 直线段爆破开挖时, 逐渐调整药量到预估最大安全药量, 对各测点均布置了三矢量振动传感器, 每次 20 点, 进行了 1 次振动测试, 最终确定了各敏感建筑物方向的爆破振动参数 K 、 α 值, 调整了最大安全药量, 确保了各建筑物安全。

3.3 测点布置

根据“948 m 交通隧道”与某水电站的位置关系,为全面获取不同方向的衰减规律,在现场右岸顺河流方向3 314 m 高程沿一条剖面埋设了6台监测仪器,形成了一条监测剖面;在坝轴线上沿灌浆平洞一条剖面方向埋设了4台监测仪器,形成

了一条监测剖面;在缆机平台上顺水流方向一条剖面埋设了3台监测仪器,形成了一条监测剖面。在0号电力铁塔及1#电力铁塔处各布置了1台监测仪器,每次现场监测点位置不变。将各监测点尽可能布置、安装在监测部位的基础岩石上(图1)。

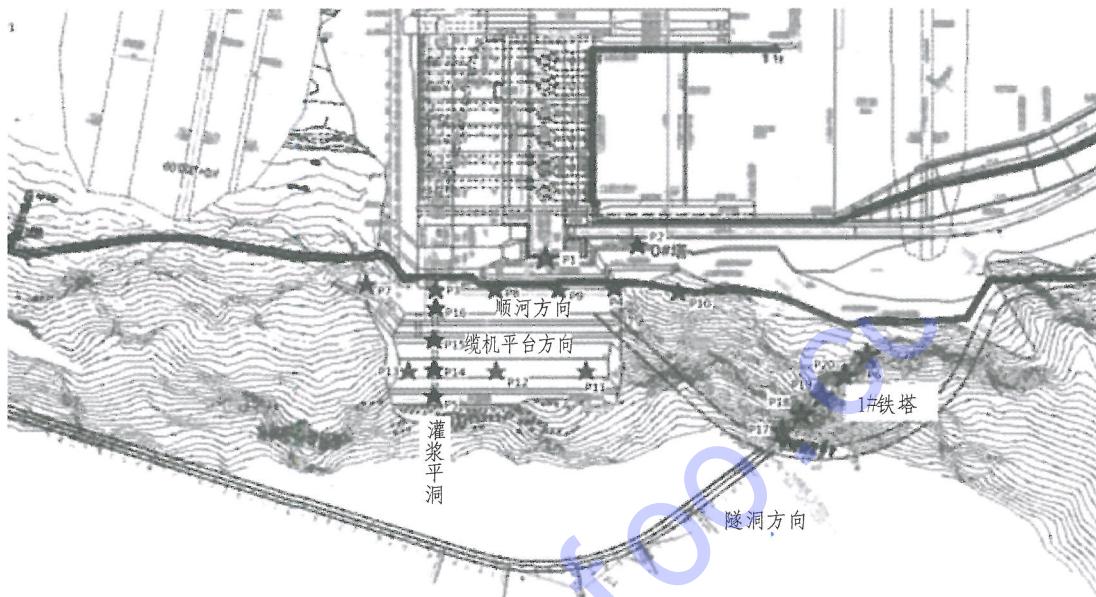


图1 某水电站拉林铁路巴玉隧道出口交通隧道爆破振动试验测点布置示意图

4 测试成果

4.1 试验成果

初步试算阶段,通过2次爆破振动测试(每次20个测点),根据装药量和爆源距,采用回归计算得出最不利方向为爆源右侧向之等高程及下方,所对应的 $K = 357.27$ 、 $\alpha = 1.901$,据此,求出最大安全单响药量为64.9 kg。

验证阶段,通过1次爆破振动测试(每次20个测点),计算得出最大安全单响药量为70.9 kg,

其值比试算阶段预测的最大安全单响药量64.9 kg大。出于安全考虑,最终确立的最大单响药量取64.9 kg。

“948 m 交通隧道”爆破施工中实际的最大单响药量为52.5 kg,小于64.9 kg,满足最大安全单响药量控制标准。

4.2 监测成果

本次“948 m 交通隧道”爆破振动峰值速度监测结果见表3。

表3 某水电站拉林铁路巴玉隧道交通洞开挖爆破振动控制标准及实测最大值表

序号	保护对象	允许质点振动速度 /cm·s ⁻¹	实测最大值 /cm·s ⁻¹	测试时间	最大单响控制装药量 /kg	总药量/最大段药量 /kg
1	发电厂房及机电设备	0.5	0.056	2016年2月17日17时38分	64.9	133.8/28.8
2	大坝及帷幕灌浆	1.5	0.058	2016年2月21日2时27分	64.9	136/28.8
4	鱼道	1.5	0.609	2016年1月1日14时05分	64.9	135/31.5
5	灌浆平洞	5.0	0.155	2016年2月21日2时27分	64.9	136/28.8

从表3可以看出,某水电站4个重点监测对象在GK000 + 000 ~ GK000 + 414段爆破施工期间,厂房中控室质点振动速度最大值为0.056 cm/s,鱼道岩锚段质点振动速度最大值为0.609 cm/s,大坝右岸坝肩质点振动速度最大值为0.058 cm/s;

右岸帷幕灌浆平洞质点振动速度最大值为0.155 cm/s,均小于各自的允许安全控制标准。从质点振动速度这一直接定量安全判据看:拉林铁路巴玉隧道出口交通隧道爆破施工并未影响到该水电站的安全运营。
(下转第97页)

120 m,受左岸边坡3组节理影响,边坡稳定情况不容乐观。施工详图阶段,为避免开挖形成高边坡,将厂房沿横轴线向河床方向平移了17 m;同时,为使引水隧洞总长不增加,又将厂房沿纵轴线向坝址方向平移了7.6 m(图1、2)。经调整后,

厂房后边坡最大开挖高度由近120 m降至72 m,减少了大量的边坡开挖支护工程量及相应的投资,初估节省投资1 052万元(表2),同时也加快了施工进度,减少了对周围环境的影响。

3 结语

表2 厂房优化前后主要工程量及投资对比表

序号	项目名称	单位	前期阶段	施工详图阶段
1	土方明挖	万m ³	6.1	2.9
2	石方明挖	万m ³	45.2	20.6
3	锚杆(M30,φ28,L=7.5 m)	根	5 152	597
	锚杆(M25,φ28,L=6.5 m)	根		664
	锚杆(M25,φ28,L=9 m)	根		209
4	预应力锚索(7φj15.2/7φ5,1 180 kN/束,L=6 m)	10 kN·m	—	10 080
5	机编镀锌钢丝网(φ4 @ 100 mm × 100 mm)	m ²	32 700	2 780
6	挂网喷混凝土钢筋网(φ6.5 @ 200 mm × 200 mm)	t	—	23.48
7	边坡挂网喷混凝土(C20,厚15 cm)	m ²	3 334	2 780
8	锚桩(332根,L=25 m,孔径130 mm)	根	150	70
9	锚桩(M30,φ28,L=12.65 m,入岩12 m)	根	—	12
10	静态投资	万元	1 984	932

注:表中仅列出因厂房优化引起的主要项目的工程量及对应投资。

根据潘口水电站工程特点,在施工详图设计阶段,设计人员结合现场实际,对引水发电系统进行了一系列优化设计,在确保结构安全、加快施工进度的同时,节省工程投资3 700多万元,占引水发电工程静态投资的14%,取得了较好的经济效益。该工程实例说明:在项目实施过程中,可深入现场收集资料、做出符合工程实际的设计优化工作,对缩短项目建设工期、节省工程投资具有现实的技术经济价值。

(上接第74页)

5 结语

针对该工程,笔者提出了运行期电站各重点保护对象的控制标准,最终确定的最大单响药量取值为64.9 kg。“948 m交通隧道”爆破施工中,实际最大单响药量为52.5 kg,小于64.9 kg,满足最大安全单响药量控制标准。

某水电站各保护对象质点振动速度均小于各自的允许安全控制标准。从质点振动速度这一直接定量安全判据看:拉林铁路巴玉隧道出口交通隧道爆破施工并未影响到该水电站的安全运营。

最终的监测成果亦验证了试验成果的有效

参考文献:

- [1] 丁家仁,王宗敏,张雪峰.设计优化对马尼拉供水工程项目实施的重要性[J].水利水电技术,2012,43(2):42~45.
- [2] 何强,陈贵强.芙蓉江清溪水电站发电引水系统设计及施工优化[J].贵州水力发电,2011,25(6):24~27.
- [3] 李水泷,姜新忠.白水坑水电站发电引水系统优化设计[J].浙江水利科技,2006,34(3):37~38.

作者简介:

游志纯(1978-),女,江西南城人,高级工程师,工程硕士,从事水电工程水工结构设计工作。
(责任编辑:李燕辉)

性。同时,通过对该电站进行的安全监测(变形、渗流、扬压力等)取得的资料表明:该水电站的爆破安全控制标准是合适的。

参考文献:

- [1] DL/T5333-2005,水电水利工程爆破安全监测规程[S].
- [2] GB6722-2011,爆破安全规程[S].
- [3] 于亚伦.工程爆破理论与技术[M].北京:冶金工业出版社,2004.

作者简介:

刘志辉(1976-),男,湖南新化人,副室主任,高级工程师,硕士,从事水电工程物探检测技术工作。
(责任编辑:李燕辉)